

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI DIMENSI CIL DALAM (*INTERNAL CHILL*) TERHADAP CACAT PENYUSUTAN (*SHRINKAGE*) PADA PENGECORAN ALUMINIUM 6061

Nama : Nurhadi Ginanjar Kusuma
NRP : 2111 106 036
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Indra Sidharta, ST, M.Sc

Abstrak

*Aluminium merupakan salah satu material yang semakin banyak dimanfaatkan terutama pada industri komponen mesin. Cacat pada hasil cor sangat dihindari karena akan berpengaruh pada kualitas hasil yang merubah dimensi dan sifat mekanik dari benda hasil cor. Kecepatan pendinginan yang tidak seragam di setiap sisi benda cor dapat berdampak timbul adanya cacat berupa shrinkage pada benda cor. Salah satu usaha untuk mengurangi dampak tersebut dilakukan penambahan mekanisme sistem pendingin pada proses pengecoran, yaitu dengan menambahkan cil dalam (*internal chill*) pada proses pengecoran aluminium 6061. Pada penelitian ini digunakan variasi dimensi *internal chill* yang bertujuan untuk menganalisa pengaruh perubahan dimensi *internal chill* terhadap cacat shrinkage pada pengecoran aluminium 6061.*

*Penelitian pembuatan benda coran dilakukan dengan menggunakan bahan coran aluminium 6061 dengan menggunakan metode pengecoran pasir. Pola benda, cil dalam (*internal chill*), sistem saluran, dan rangka cetak terbuat dari kayu. Sistem saluran yang digunakan adalah *horizontal-parting line gating system* [8]. Langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan pasir cetak dengan komposisi pasir silika 89%, bentonit 7,5%, dan air 3,5% [7]. Langkah kedua membuat cetakan dengan cara menyusun pola benda, *internal chill*, dan sistem saluran kedalam rangka cetak kemudian ditutup dengan*

pasir cetak. Cetakan dibuat sebanyak tiga buah dengan menggunakan variasi dimensi internal chill 15, 20, dan 25 mm yang menggunakan material baja ST 41. Pengeringan cetakan dilakukan selama dua minggu. Langkah ketiga yaitu proses peleburan, penuangan, dan pembekuan aluminium 6061. Langkah terakhir proses inspeksi terhadap cacat shrinkage dengan cara menghitung perbandingan volume cacat terhadap volume total spesimen.

Dari hasil penelitian didapatkan pengaruh penggunaan dimensi internal chill terhadap prosentase jumlah cacat shrinkage dengan diameter 15, 20, dan 25 secara berurutan sebesar 3,82, 1,28, dan 1,01 %. Penggunaan variasi dimensi internal chill pada pengecoran benda yang semakin diperbesar dapat berfungsi dengan baik serta menggeser lokasi cacat penyusutan menjauhi internal chill.

Kata kunci : sistem saluran (gating system), cil dalam (internal chill), cacat penyusutan (shrinkage).

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF VARIATION INTERNAL CHILL DIMENSION TOWARDS SHRINKAGE DEFECT IN ALUMINIUM 6061 CASTING

Student Name : Nurhadi Ginanjar Kusuma
NRP : 2111 106 036
Department : Teknik Mesin FTI – ITS
Advisor : Indra Sidharta, ST, M.Sc

Abstract

Aluminum is one of material that is more widely used, especially in the industrial machine components. Defects in the cast was avoided because the outcome will affect the quality of the results that change the dimensions and mechanical properties of objects cast result. The cooling rate is not uniform on each side of the casting defects arise could defect the form of shrinkage in the casting. One attempt to reduce the impact of the addition of the cooling mechanism in the casting process, that is by adding an internal chill on 6061 aluminum casting process used in this study variations in internal dimensions of chill which aims to analyze the effect of changes in the internal dimensions of a chill to the shrinkage defects in aluminum casting 6061.

Research conducted by the manufacture of castings objects using 6061 aluminum castings material using the sand casting method. Pattern objects, internal chill, gating system, and frames made of wood. The system used is a horizontal parting-line gating system [8]. The first step is to prepare the molding sand composition of silica sand with 89% silica, bentonite 7.5%, and 3.5% water [7]. The second step is to make the mold by means of rearrange the pattern of objects, internal chill, and gating system system into the frame and then backfilled with sand molding. Mold is made of three pieces using chill variation of the internal dimensions 15, 20, and 25 mm were used steel material ST 41. Drying mold done for two weeks. The third step is the

process of melting, pouring, and 6061 aluminum freezing. Last step inspection process to shrinkage defects by calculating the ratio of the volume to the total volume of the specimen defects.

From the results, the effect of the use of the internal dimensions of a chill to the percentage of shrinkage defects with a diameter of 15, 20, and 25 respectively of 3.82, 1.28, and 1.01%. The use of dimensional variation of internal chill at the enlarged casting objects to function properly, and shifted away from the location of the internal shrinkage defects chill.

Keywords : gating system, internal chill, shrinkage.

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI
DIMENSI CIL DALAM (*INTERNAL CHILL*)
TERHADAP CACAT PENYUSUTAN (*SHRINKAGE*)
PADA PENGECORAN ALUMINIUM 6061**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Metalurgi
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :

Nurhadi Ginanjar Kusuma
Nrp. 2111 106 036

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Indra Sidharta, ST, M.Sc(Pembimbing)
NIP. 198006192006041004
2. Dr. Ir. Soeharto, DEA(Penguji I)
NIP. 194809111981031001
3. Putu Suwarta, ST, M.Sc(Penguji II)
NIP.198203032009121007
4. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT(Penguji III)
NIP.197407032000031001

SURABAYA
Juli, 2014

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sub bab ini akan ditampilkan penelitian terdahulu yang dijadikan dasar pertimbangan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.

Penelitian yang dilakukan oleh Eko Sugiyarto. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi cacat *shrinkage* dengan menggunakan cil luar (*external chill*) atau *fin* serta distribusi temperatur pengecoran. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa penggunaan *external chill* lebih efektif dibandingkan dengan *fin*. Terlihat dari besarnya prosentase cacat shrinkage yang dihasilkan (0,070-0,0674%) oleh penggunaan *external chill* jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan penggunaan *fin* (0,0141-0,0870%). Sementara grafik yang didapatkan dengan menggunakan *external chill* mengalami penurunan temperatur yang lebih baik dan seragam jika dibandingkan dengan *fin* ataupun tanpa keduanya [10].

2.2. Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah proses manufaktur logam dengan cara mencairkan logam sampai dengan suhu temperatur lelehnya, kemudian logam cair dituangkan ke dalam rongga cetakan sehingga akan dihasilkan suatu bentuk yang diinginkan sesuai dengan rongga cetakan. Proses-proses yang dilakukan dalam pengecoran adalah : pembuatan cetakan, pencairan logam, penuangan logam cair kedalam cetakan, pembongkaran cetakan, dan pembersihan cetakan.

2.3. Pola

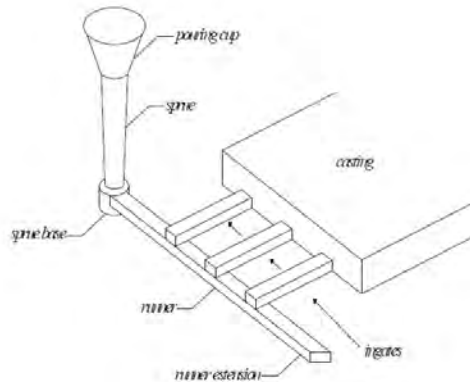
Pola sangat diperlukan dalam pengecoran, dapat digolongkan menjadi pola logam dan pola kayu. Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda coran

terutama dalam masa produksi sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktivitas lebih tinggi. Pola kayu dibuat dari kayu karena murah, cepat dibuat, dan mudah diolah dibanding dengan pola logam. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi saat pembuatan pola adalah:

1. Mudah dikerjakan, dibentuk, dan dirakit.
2. Kuat, keras, dan tahan lama.
3. Dimensi stabil, tidak dipengaruhi kelembaman dan perubahan temperatur.
4. Ringan, baik saat operasi dan pengangkatan.

2.4. Sistem Saluran Menurut Standar AFS

Sistem saluran didefinisikan sebagai jalan masuk atau saluran bagi logam cair yang dituangkan dari ladle menuju ke dalam rongga cetakan. Pada umumnya sistem saluran dirancang untuk mengisi cetakan secepat mungkin dan tidak menimbulkan terbentuknya turbulensi.



Gambar 2.1 Sistem saluran [2]

Keterangan gambar:

- a) Cawan tuang (*pouring basin*).
- b) Saluran turun (*sprue*).

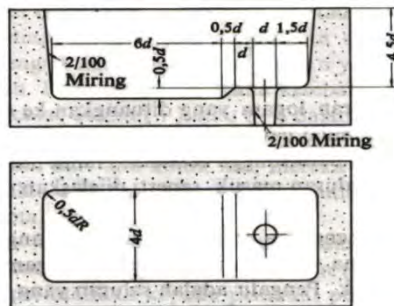
- c) Saluran turun dasar (*sprue base*)
- d) Pengalir (*runner*).
- e) Pengalir tambahan (*runner extention*)
- f) Saluran masuk (*ingate*)

Sistem saluran yang optimal berdasarkan *American Foundrymen's Society* (AFS) dapat dibuat berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

1. Sistem saluran menggunakan sistem tanpa tekanan dimana perbandingan antara luasan saluran turun : pengalir : saluran masuk adalah 1 : 4 : 4
2. Saluran turun yang digunakan adalah saluran turun yang meruncing dengan bagian bawah saluran turun mengecil merupakan luasan penyempitan.
3. Menggunakan cawan tuang.
4. *Sprue base* digunakan untuk menyerap energi kinetik yang jatuh dari saluran turun.
5. Pengalir diletakkan di *drag* dan saluran masuk di *cup*.
6. Perpanjangan pengalir digunakan untuk menjebak slag atau pengotor dari logam cair.

2.4.1. Cawan tuang (*pouring basin*)

Cawan tuang berfungsi sebagai penerima logam cair dari ladle dan sebagai pembantu sistem pengalir cairan logam untuk mengalir sebaik mungkin.

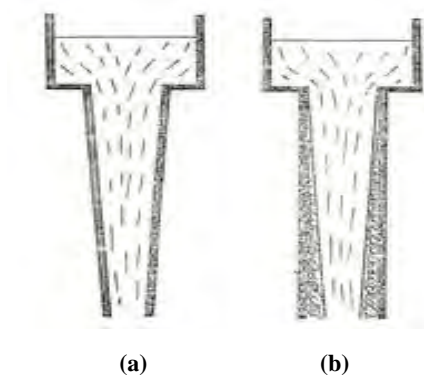


Gambar 2.2. Cawan tuang (*pouring basin*) [12]

Cawan tuang tidak boleh terlalu dangkal sebab hal itu bisa menyebabkan pusaran karena bentuk dari cawan tuang itu sendiri sehingga timbul terak atau kotoran yang terapung pada logam cair. Cawan tuang biasanya berbentuk corong atau cawan dengan saluran turun di bawahnya seperti pada gambar 2.2.

2.4.2. Saluran turun (*sprue*)

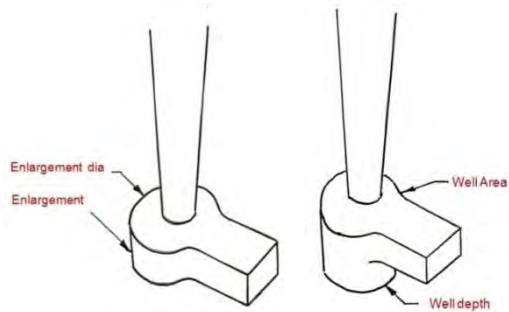
Saluran turun merupakan saluran pertama yang membawa logam cair dari cawan tuang ke dalam pengalir dari saluran masuk. Desain saluran turun memegang peranan yang penting untuk menghindari inisiasi terjadinya aliran turbulen dalam proses. Aliran turbulen akan menyebabkan aspirasi dari udara dan gas yang terjebak sehingga dapat menimbulkan cacat, selain itu juga akan mengikis rongga cetak (*cavity*).



Gambar 2.3 Saluran turun (*sprue*) : (a). *Tapered sprue*,
(b). *Straight sprue*

2.4.3. Saluran turun dasar (*sprue base*)

Saluran turun dasar merupakan pelebaran segi empat atau silinder bagian bawah dari sistem saluran turun. Saluran turun dasar digunakan untuk menyerap energi kinetik dan energi potensial dari logam cair ketika turun dari saluran turun.



Gambar 2.4. Saluran turun dasar (*sprue base*)

2.4.4. Pengalir (*runner*)

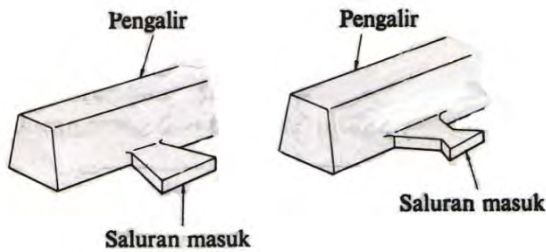
Pengalir merupakan saluran yang berfungsi membawa logam cair dari saluran turun menuju rongga cetak. Pengalir biasanya mempunyai irisan seperti trapesium atau setengah lingkaran sebab irisan yang demikian mudah dibuat pada permukaan pisah.

Potongan pengalir ($A \times A$) mm	Panjang pengalir (C) mm
20 × 20	< 600
30 × 30	< 1,000
40 × 40	< 2.000
50 × 50	< 3.000

Gambar 2.5. Pengalir (*runner*) [12]

2.4.5. Saluran masuk (*ingate*)

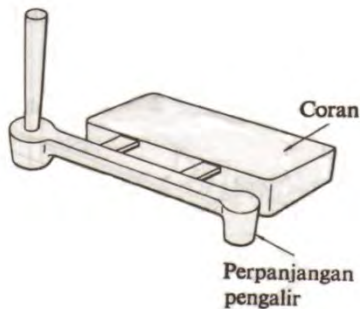
Saluran masuk merupakan saluran pendek yang menghubungkan antara pengalir dan rongga cetakan. Saluran masuk berfungsi untuk mengisikan logam cair dari saluran pengalir ke dalam rongga cetakan. Saluran masuk dibuat dengan irisan yang lebih kecil daripada pengalir agar dapat mencegah kotoran masuk ke dalam rongga cetakan.



Gambar 2.6. Saluran masuk (*ingate*) [12]

2.4.6. Pengalir tambahan (*runner extention*)

Pengalir tambahan merupakan salah satu dari pengalir yang diperpanjang setelah saluran masuk (*ingate*) yang terakhir, sebagai ujung dari pengalir. Pengalir tambahan berfungsi untuk menjebak kotoran atau terak yang mengalir selama pengecoran.



Gambar 2.7. Pengalir tambahan (*runner extention*) [12]

2.5. Perancangan Sistem Saluran

Perancangan sistem saluran dibutuhkan agar terhindar dari aliran fluida yang turbulen. Aliran turbulen pada sistem saluran dapat mengakibatkan terbentuknya daerah yang bertekanan lebih rendah sehingga akan menyebabkan terjebakny udara atau gas dalam coran. Perhitungan sistem saluran dibutuhkan beberapa data awal yang akan digunakan untuk menentukan dimensi sistem saluran secara matematis.

2.5.1. Penentuan berat benda coran

Berat benda coran digunakan perumusan sebagai berikut:

$$\text{Berat benda (W)} = V \cdot \rho \quad (\text{Pers. 2.1})$$

Dimana : W = Berat benda coran (gr)
 V = Volume benda (cm³)
 ρ = Densitas logam cair (gr/cm³)

2.5.2. Penentuan waktu tuang

Penentuan waktu tuang untuk coran dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Pouring time (t)} = K_1 \sqrt{w} \quad (\text{pers. 2.2})$$

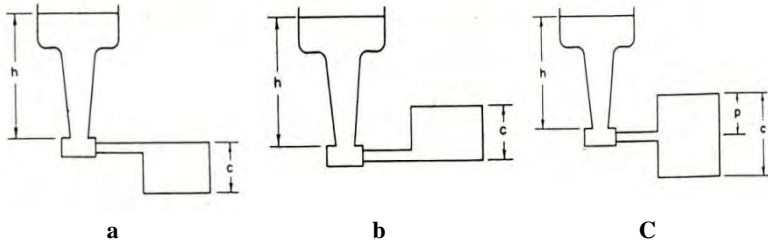
Dimana : K = Konstanta
 t = Waktu tuang (detik)
 w = Berat benda coran (lb)

Nilai konstanta K bervariasi dari 0,9 sampai 2.

2.5.3. Penentuan tinggi saluran turun efektif

Jenis saluran yang digunakan menggunakan *parting line*, dimana saluran ini mengkombinasikan karakteristik *top* dan *bottom gating*. Pada kasus ini, logam cair masuk pada rongga cetak pada level yang sama. Logam cair masuk melalui *sprue* dan mencapai *parting surface* yang menghubungkan *runner* dan *ingate* secara horizontal. Perancangan dengan metode ini dapat

secara efektif menangkap slag, kotoran, dan pasir yang lewat bersama logam cair saat turun melalui *sprue*.



Gambar 2.8. Jenis saluran turun
a. *Top gating*, b. *Bottom gating*, c. *Parting line*

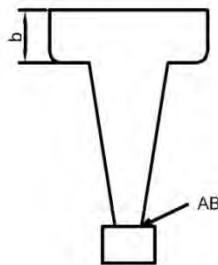
Parting line gating system dihitung menggunakan perumusan sebagai berikut:

$$\text{Saluran turun efektif: } H = \frac{2hc - p^2}{2c} \quad (\text{pers. 2.3})$$

- Dimana :
- H = Tinggi saluran turun efektif (mm)
 - h = Tinggi saluran turun (mm)
 - c = Tinggi rata-rata benda coran (mm)
 - p = Separuh tinggi rata-rata benda coran (mm)

2.5.4. Penentuan area penyempitan bawah (*choke area*)

Area penyempitan bawah dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:



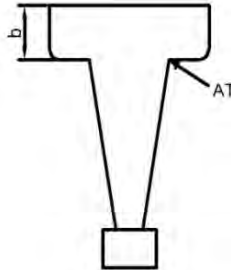
Gambar 2.9. Area penyempitan bawah (*choke area*)

$$A_B = \frac{w}{d.t.c.\sqrt{2.g.H}} \quad (\text{pers. 2.4})$$

Dimana: A_B = Luasan penyempitan *Choke Area* (mm²)
 w = Berat coran (gr)
 ρ = Densitas logam cair (gr / cm³)
 t = Waktu penuangan (detik)
 H = Ketinggian efektif saluran turun (cm)
 g = Percepatan gravitasi (981 cm/det²)
 c = Faktor efisiensi dari saluran turun
 = 0,88 (*tapered sprue*)
 = 0,47 (*round straight sprue*)
 = 0,74 (*square tapered sprue*)

2.5.5. Penentuan area atas saluran turun

Area saluran turun dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:



Gambar 2.10. Area atas saluran turun

$$A_T = A_B \sqrt{\frac{H}{b}} \quad (\text{pers. 2.5})$$

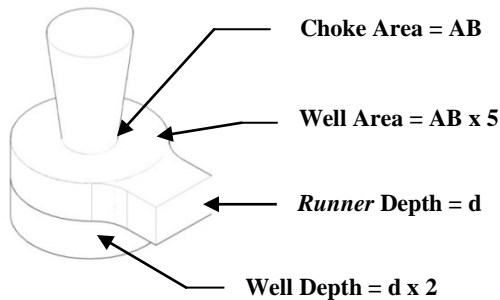
Dimana : A_B = *Choke Area* (mm²)
 b = Kedalaman logam pada cawan tuang (mm)

2.5.6. Penentuan area pengalir dan saluran masuk

Menentukan luasan pengalir (*runner area*) dan luasan saluran masuk (*gate area*) dengan menggunakan rekomendasi AFS horizontal maka untuk menentukan luasan pengalir menggunakan perbandingan antara *choke area* : *runner area* : *gate area* = 1 : 4 : 4. Maka *runner area* sama dengan empat kali *choke area* dan *gate area* sama dengan empat kali *choke area*.

2.5.7. Penentuan saluran turun dasar

Perhitungan saluran turun dasar untuk material *non ferrous* menggunakan perumusan sebagai berikut:



Gambar 2.11. Well base

$$\begin{aligned} \text{Dimana : } A_B &= \text{Choke Area (mm}^2\text{)} \\ \text{Well base} &= 5 \times A_B && \text{(pers. 2.6)} \\ \text{Well depth} &= 2 \times \text{kedalaman runner} && \text{(pers. 2.7)} \end{aligned}$$

2.6. Pasir Cetak

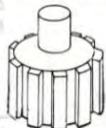

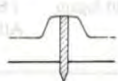
Pasir cetak yang baik untuk pembuatan cetakan perlu memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok.

2. Permeabilitas yang cocok. Permeabilitas yang kurang baik akan menyebabkan cacat coran seperti rongga penyusutan, gelembung gas, atau kekasaran permukaan.
3. Distribusi besar butir (*grain size*) yang cocok. Permukaan coran menjadi halus jika coran dibuat dalam cetakan yang berbutir pasir halus, akan tetapi jika terlalu halus gas sulit keluar sehingga dapat mengakibatkan cacat coran seperti gelembung gas dan porositas.
4. Tahan panas terhadap temperatur logam pada waktu penuangan.
5. Komposisi yang cocok.
6. Mampu pakai. Pasir harus dapat dipakai berulang-ulang.
7. Pasir harus murah.

2.7. Cil (*Chill*)

Cil adalah benda (terutama logam) yang diletakkan di bagian cetakan untuk mendinginkan coran secara cepat, yang dibagi menjadi tiga macam yaitu cil luar (*external chill*), cil dalam (*internal chill*), dan cetakan logam.

Macam	Guna	Ilustrasi
Cil luar	Balok diletakkan pada coran untuk mendapat laju pembekuan yang seragam, untuk memperbaiki struktur coran.	
Cetakan logam	Cetakan utama atau inti dibuat dari logam untuk memperbaiki struktur coran.	
Cil dalam	Dimasukkan ke dalam bagian yang tebal yang dikelilingi logam supaya laju pembekuan seragam.	

Gambar 2.12. Macam-macam cil [12]

Cil luar (*external chill*) dipasang di bagian coran yang sangat tebal atau tidak dapat diisi logam cair dari penambah, berfungsi sebagai pendinginan coran bagian luar. Cil dalam (*internal chill*) dipasang pada pertemuan bos kecil yang jauh dari penambah yang akan dikelilingi oleh logam dengan maksud untuk mencegah penyusutan di dalam logam. Cetakan logam pada umumnya digunakan untuk coran bukan besi, yaitu untuk membekukan dan mendinginkan seluruh bagian coran dengan cepat.

2.7.1. Penentuan cil untuk coran bukan besi

Cil lazim dipakai untuk coran bukan besi. Bahan untuk cil biasanya besi cor, dimana cil tersebut sering dipergunakan untuk coran paduan aluminium. Coran paduan bukan besi digolongkan menjadi beberapa macam, misalnya paduan timah seperti brons, paduan seng seperti kuningan, paduan timah-timbal seperti brons-timbal, paduan aluminium dan lain-lain. Penggunaan cil harus diperhatikan sesuai dengan bahan corannya, karena kegunaan cil dapat berubah sesuai dengan bahan corannya [12].

1. Bahan coran brons, daerah temperatur pembekuannya lebar dan pengisian logam cair ke dalam rongga-rongga antara dendrit tidak mungkin karena kuatnya cabang-cabang dari butir dendrit. Karena itu rongga penyusutan akan terbentuk dan coran akan cenderung untuk mempunyai tekanan hidrolik yang buruk. Untuk mencegah ini struktur harus terbentuk dari butir-butir yang kasar. Kegunaan dari cil ini adalah untuk membentuk butir-butir tersebut.
2. Bahan coran brons fosfor dan brons timbal, cil dipakai untuk mencegah segregasi dari fosfor dan timbal, dan untuk mencegah rongga-rongga penyusutan seperti pada coran brons.
3. Bahan coran kuningan dan kuningan kekuatan tinggi atau brons aluminium, mempunyai koefisien penyusutan yang tinggi, oleh karena itu cil dipakai untuk memperbaiki prosentase terpakai dan mencegah memburuknya sifat-sifat

mekanik yang disebabkan oleh waktu pembekuan yang lama. Pengaruh massa dan bahan kuningan kekuatan tinggi besar, sehingga tanpa cil coran ini akan mengalami retakan penuaan serta buruknya sifat-sifat mekanik yang didapat dari hasil coran. Pendinginan perlahan-lahan dari brons aluminium menyebabkan hasil coran kehilangan kekuatan tarik karena pengendapan fase.

4. Bahan coran paduan aluminium, gunanya untuk menghaluskan struktur pada permukaan yang dikerjakan dengan mesin serta mencegah terjadinya rongga-rongga penyusutan.

2.7.2. Perhitungan dimensi dari cil dalam (*internal chill*)

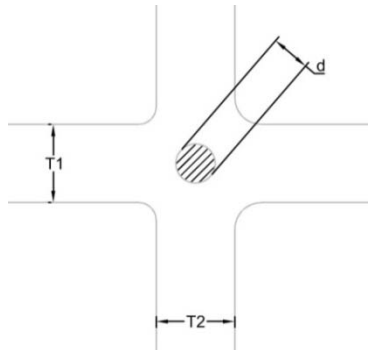
Perhitungan dimensi cil dalam (*internal chill*) dengan menggunakan benda bentuk X dapat ditentukan dengan menggunakan rumus: [12]

$$d = \frac{1}{2} T_1 \quad , \text{ Jika } T_1 \leq T_2 \quad (\text{pers. 2.8})$$

Dimana : d = Diameter cil (mm)

T₁ = Lebar coran pada daerah 1(mm)

T₂ = Lebar coran pada daerah 2 (mm)



Gambar 2.13. Lokasi cil dalam (*internal chill*) pada pertemuan X [12]

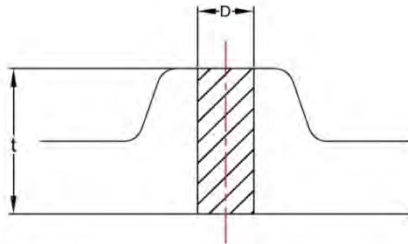
Sedangkan penentuan *internal chill* yang dipasang pada ketebalan coran dengan ukuran lebih dari 40 mm, atau pada permukaan dengan ketebalan lebih dari 20 mm dapat ditentukan dengan menggunakan rumus: [12]

$$d = \gamma \cdot t \quad (\text{Pers. 2.9})$$

Dimana : d = Diameter cil dalam (*internal chill*) (mm)

t = Tebal coran dimana cil harus ditempatkan (mm)

γ = Konstanta yang tergantung pada bahan coran (tabel 2.1)



Gambar 2.14. Lokasi cil dalam (*internal chill*) pada benda dengan tebal tertentu

Tabel 2.1. Harga γ [12]

Bahan	Harga γ
BC, PBC, LBC	0,5
YBsC, HBsC, AlBC, Al	0,4

Keterangan : BC : Coran Brons (*Bronze Castings*)
 PBC : Coran Brons Pospor (*Phosphor Bronze Castings*)
 LBC : Coran Brons Timbal (*Leaded Bronze Castings*)
 YBsC : Coran Kuningan Kuning (*Yellow Brass Castings*)
 HBsC : Coran Kuningan Kekuatan Tinggi (*High Strength Brass Castings*)

AlBC : Coran Brons Aluminium (*Aluminium Bronze Castings*)

Al : Aluminium

2.8. Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam *non ferrous* dan merupakan logam ringan dengan berat jenis $2,7 \text{ gr/cm}^3$ dan titik cairnya $660,2^\circ\text{C}$. Saat ini aluminium berkembang luas dan banyak digunakan pada aplikasi industri seperti otomotif, rumah tangga, maupun elektrik. Sifat-sifat yang dimiliki aluminium yaitu:

1. Ringan
2. Tahan terhadap korosi
3. Mudah dalam pembentukannya
4. Konduktifitas panas tinggi
5. Konduktifitas listrik tinggi
6. Tangguh pada temperatur rendah
7. Tidak beracun
8. Mudah didaur ulang



Gambar 2.15. Aluminium

2.8.1. Aluminium paduan

Paduan aluminium dapat digolongkan menjadi aluminium *wrought alloy* dan *casting alloy*. Aluminium *wrought alloy* berupa barang setengah jadi, misalnya batang, plat, dan lain-lain, dapat diklarifikasikan menurut komposisi kimianya. Tiap-tiap jenis paduan diberi kode 4 digit angka. Digit pertama

menunjukkan jenis paduan aluminium, digit kedua menunjukkan modifikasi dari paduan orisinil atau batas impurity. Digit 0 untuk paduan orisinil dan digit 1-9 untuk modifikasi. Pada seri 1xxx, seri aluminium, seri aluminium dengan kemurnian 99,0% atau lebih, digit ketiga dan keempat menunjukkan angka desimal dari kemurnian aluminium. Jadi, paduan 1060 adalah aluminium murni dengan 99,60% Al. Pada seri yang lain, seri 2xxx sampai dengan 8xxx, digit ketiga dan keempat ini tidak banyak berarti, hanya untuk membedakan paduan yang satu dengan lainnya pada seri itu saja.

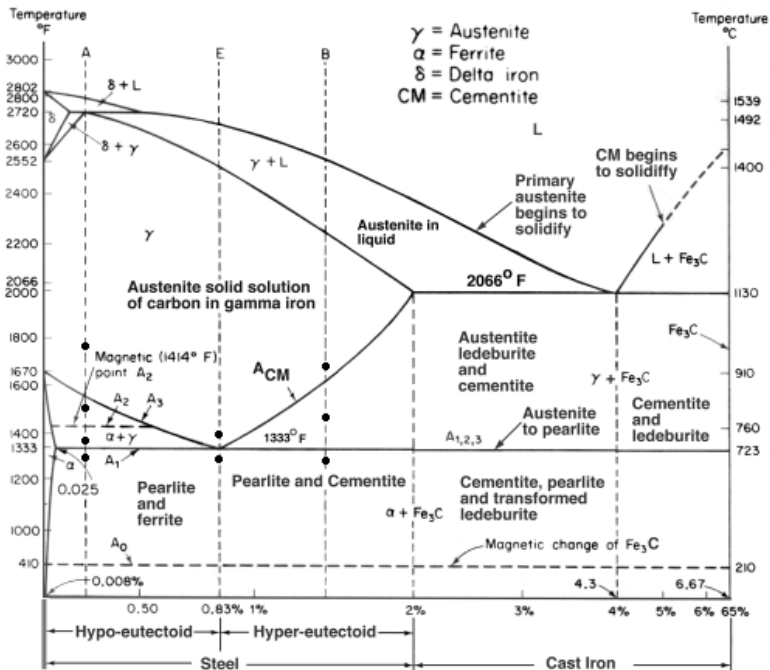
Tabel 2.2. Sistem penomoran *wrought* dan *casting alloy* [7]

Kelompok	Elemen Paduan (<i>wrought alloy</i>)	Elemen Paduan (<i>casting alloy</i>)
1xxx	Aluminium (min 99% atau lebih)	Aluminium (min 99% atau lebih)
2xxx	Tembaga (Cu)	Silikon + Tembaga dan Magnesium
3xxx	Mangan (Mn)	Silikon (Si)
4xxx	Silikon (Si)	Magnesium (Mg)
5xxx	Magnesium (Mg)	Seri yang belum digunakan
6xxx	Magnesium dan Silikon (Mg dan Si)	Magnesium dan Silikon (Mg dan Si)
7xxx	Seng (Zn)	Seng (Zn)
8xxx	Elemen lain	Timah (Sn)
9xxx	Seri yang belum digunakan	Elemen lain

2.9. Baja

Besi merupakan material yang banyak dipakai di industri dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonomisnya, tetapi yang

paling penting karena sifat-sifat yang bervariasi. Bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dapat dibuat. Besi tidak digunakan dalam keadaan murni, tetapi sebagai paduan terutama dengan karbon, dikenal sebagai baja dan besi tuang. Baja dan besi tuang bukan hanya berbeda kadar karbonnya, tetapi juga berbeda struktur mikronya, dan tentu juga beberapa sifatnya.



Gambar 2.16. Diagram keseimbangan besi – karbon [11]

Baja pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon dengan kadar karbon tidak lebih dari 2,0%, disamping itu juga mengandung sejumlah unsur paduan dan unsur pengotoran. Besi tuang adalah paduan besi dan karbon, tetapi dengan kadar karbon

yang lebih tinggi dari 2,0%, yang banyak digunakan biasanya antara 2,5-4,0%. Karbon dalam besi tuang dapat berupa sementit (Fe_3C) atau karbon bebas (grafit). Gambar 2.16 menunjukkan diagram keseimbangan besi-karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja. Selain karbon terkandung kira-kira 0,25% Si, 0,3-1,5% Mn, dan unsur pengotor lain seperti P, S, dsb. Unsur-unsur dalam campuran itulah yang mempengaruhi sifat-sifat besi pada umumnya, namun unsur zat arang (karbon) yang paling besar pengaruhnya terhadap besi terutama kekerasannya.

2.10. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi akibat adanya perbedaan temperatur. Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi melalui media padat. Perpindahan panas secara konduksi memiliki rumus sebagai berikut: [6]

$$q = q'' \cdot A$$

$$q'' = k \frac{\Delta T}{L} \quad (\text{Pers. 2.10})$$

- Dimana : q = Perpindahan panas (W)
 q'' = Laju perpindahan panas/Unit area (W/m^2)
 K = Koefisien konduksi (W/mK)
 ΔT = Selisih temperatur (K)
 L = Tebal benda (m)

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi melalui permukaan fluida yang bergerak. Perpindahan panas secara koneksi memiliki rumus sebagai berikut: [6]

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{Pers. 2.11})$$

- Dimana : q = Perpindahan panas konveksi (Watt)
 h = Koefisien konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
 A = Luasan benda (m^2)
 ΔT = Selisih temperatur (K)

Perpindahan panas secara radiasi terjadi pada semua permukaan pada temperatur hingga (*finitie temperature*) memancarkan energi dalam bentuk gelombang magnet, atau dapat dikatakan radiasi adalah perpindahan panas antara dua permukaan yang memiliki perbedaan temperatur. Perpindahan panas radiasi memiliki rumus sebagai berikut: [6]

$$q = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (\text{Pers 2.12})$$

Dimana : q = Perpindahan panas radiasi (Watt)

ε = Emisivitas permukaan $0 \leq \varepsilon \leq 1$

A = Luasan benda (m^2)

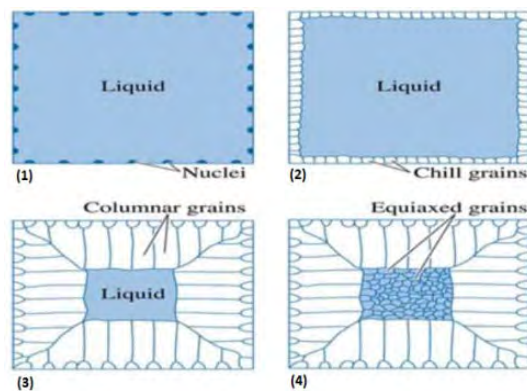
σ = Konstanta Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

T_s = Temperatur permukaan (K)

T_{sur} = Temperatur lingkungan (K)

2.11. Pembekuan (Solidifikasi)

Proses pembekuan logam cair dimulai dari bagian logam cair yang bersentuhan dengan dinding cetakan, yaitu ketika panas dari logam cair diambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai titik beku. Proses pembekuan logam cair diilustrasikan sebagaimana pada gambar 2.17 [12].



Gambar 2.17 Pembekuan logam coran dalam cetakan [5]

Selama proses pembekuan berlangsung, inti-inti kristal tumbuh. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luarnya sehingga kristal-kristal tumbuh dari inti asal mengarah ke bagian dalam coran dan butir-butir kristal tersebut berbentuk panjang-panjang seperti kolom. Struktur ini muncul dengan jelas apabila gradien temperatur yang besar terjadi pada permukaan coran besar. Akibat adanya perbedaan kecepatan pembekuan, terbentuklah arah pembekuan yang disebut dendritik.

Pada daerah pembekuan cepat (*chill zone*), struktur ini terbentuk pada kontak pertama antara dinding cetakan dengan logam cair pada saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh ke dalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan. Apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada tengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

Columnar zone merupakan struktur yang tumbuh setelah gradien suhu pada dinding cetakan turun dan kristal pada *chill zone* tumbuh secara dendritik dengan arah yang tegak lurus dengan dinding cetakan. Batas permukaan antara struktur kolumnar dengan cairan dapat berbentuk selular maupun selular dendritik.

Pada *equiaxed zone*, struktur ini terdiri dari butiran yang bersumbu sama yang arah acak. Asal dari butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrit. Bila suhu di sekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan tumbuh menjadi dendrit yang baru.

Cil merupakan benda (terutama logam) yang diletakkan di bagian cetakan untuk mendinginkan coran secara cepat. Cil merupakan unsur penting dalam proses pembentukan benda kerja dengan pengecoran. Bahan untuk cil biasanya besi cor, dimana cil

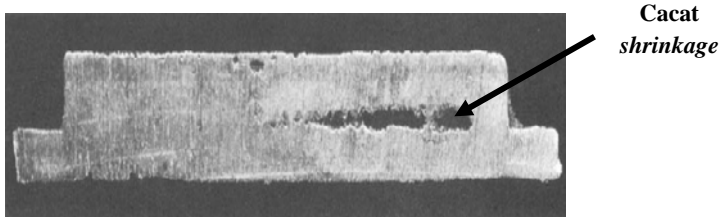
tersebut sering dipergunakan untuk coran paduan aluminium dan coran paduan yang umumnya bukan besi. Komposisi yang terkandung didalam bahan tuangan termasuk dalam senyawa besi (Fe) itu sendiri misalnya sulphur, phosphor, silikon dan lain-lain memiliki sifat reaksi yang berbeda dalam menerima perubahan temperatur, serta bentuk produk yang tidak seragam, perbedaan ketebalan benda tuangan itu sendiri akan berbeda dalam penyerapan panasnya. Pada dasarnya penggunaan chill ini ialah menempatkan logam dalam keadaan padat diantara proses pendinginan logam cair kearah pemadatan (*solidification*). Penggunaan cetakan pasir dalam penuangan dimana terdapat perbedaan yang signifikan antara dua material ini dalam konduktifitas panasnya. Dengan ditempatkannya bahan logam padat sebagai cil, panas dari logam cair akan diserap oleh chill tersebut.

Arah pembekuan berhubungan dengan *modulus casting*. *Modulus casting* menunjukkan rasio antara volume cor dengan luas permukaannya yang melepaskan panas. Jika volume cor cetakan meningkat maka semakin banyak logam cair, maka waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan memerlukan waktu yang lebih lama. Sebaliknya panas yang ada didalam cor harus dilepaskan melalui permukaan cor, semakin besar luas permukaan cor akan semakin cepat cor tersebut dingin. Jadi *modulus casting* semakin besar maka waktu yang dibutuhkan untuk pendinginan akan semakin lama.

2.12. Penyusutan (*Shrinkage*)

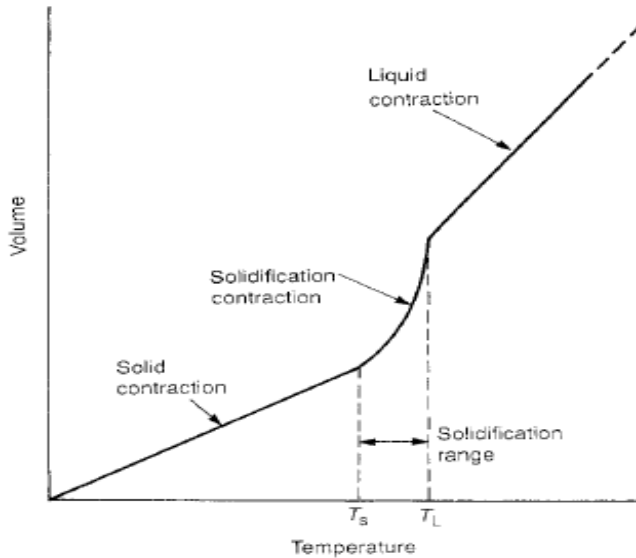
Cacat penyusutan (*shrinkage*) merupakan cacat pada coran berupa cekungan bila bentuk cetakan terbuka seperti pada gambar 2.18 dan berupa rongga bila bentuk cetakan tertutup dengan bentuk tidak beraturan dan permukaannya kasar yang terjadi karena penyusutan volume logam cair pada saat proses pembekuan dan tidak mendapatkan pasokan logam cair dari *riser*. Pada saat logam membeku, tiap bagian coran yang berbeda bentuknya memiliki kecepatan pembekuan yang berlainan

sehingga cacat tersebut mudah terjadi pada bagian yang paling lambat membeku.



Gambar 2.18. Cacat penyusutan (*shrinkage*) [3]

Pada setiap pembuatan cetakan (*mould*) harus selalu memperhitungkan terjadinya penyusutan (*shrinkage*) saat terjadi pembekuan. Ketika dilakukan proses peleburan, terjadi proses pemuaian (*ekspansion*) pada logam padat. Logam padat tersebut akan mengalami perubahan volume yang lebih besar karena mendapatkan energi dari luar sehingga molekul-molekul di dalam logam padat tersebut bergerak lebih aktif. Molekul yang bergerak aktif ini menyebabkan jarak antar molekul bertambah lebar, dan apabila energi yang diterima bertambah banyak ikatan antar molekul dapat terlepas sehingga logam padat dapat berubah menjadi logam cair. Sedangkan pada proses pembekuan, logam cair akan mengalami penyusutan yang membuat volume logam semakin kecil. Jadi jika dibandingkan dengan ukuran pada rongga cetak, ukuran produk akan berbeda, yaitu ukurannya menjadi lebih kecil dibandingkan rongga cetaknya. Ilustrasi shrinkage dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19. Ilustrasi shrinkage pada setiap fase [4]

Bentuk benda coran mempengaruhi terjadinya cacat *shrinkage*. Untuk itu, dihindari benda coran yang memiliki perubahan tebal yang sangat besar serta bidang lengkung yang memerlukan pekerjaan tangan diubah menjadi datar. Adanya perubahan tebal yang terlalu besar dan bentuk benda coran yang rumit memperbesar kemungkinan terjadinya cacat *shrinkage*. Cacat *shrinkage* dapat dihindari dengan menggunakan penambah (*riser*) ataupun dengan memberikan pendinginan (*chiller*) pada benda cor. Solidifikasi *shrinkage* beberapa material dapat dilihat pada Tabel 2.3.

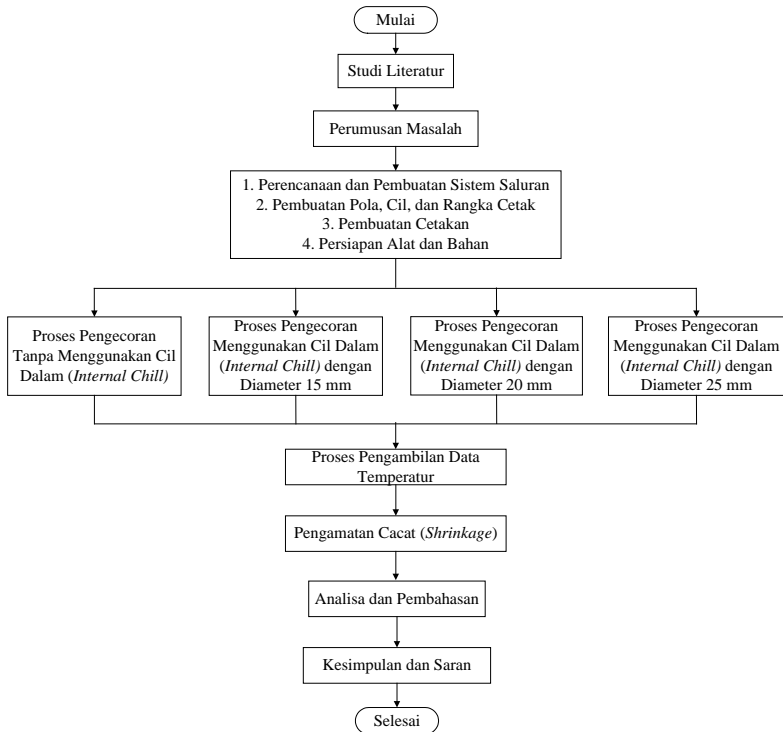
Tabel 2.3. Solidifikasi *shrinkage* beberapa material [4]

Metal	Crystal Structure	Melting point ($^{\circ}\text{C}$)	Volume change (%)
Al	fcc	660	7.14
Au	fcc	1063	5.47
Co	fcc	1495	5.26
Cu	fcc	1083	5.30
Ni	fcc	1453	5.1 1
Pb	fcc	327	3.22
Fe	bcc	1536	3.16
Li	bce	181	2.74
Na	bcc	97	2.60
K	bcc	64	2.54

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Flowchart penelitian dapat digambarkan seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. *Flowchart* penelitian

3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk menyiapkan teori pendukung dan rumus-rumus relevan yang dibutuhkan. Tahap ini meliputi pengumpulan berbagai literatur atau buku-buku referensi yang berkaitan dengan proses pengecoran logam. Literatur yang

dipelajari berupa tugas akhir yang pernah dikerjakan, katalog, jurnal, informasi dari internet, maupun buku-buku teks.

3.2. Perumusan Masalah

Tahap ini digunakan untuk mendapatkan suatu gagasan yang akan dijadikan bahan penelitian. Gagasan tersebut adalah bagaimana pengaruh variasi dimensi cil dalam (*internal chill*) terhadap cacat *shrinkage*.

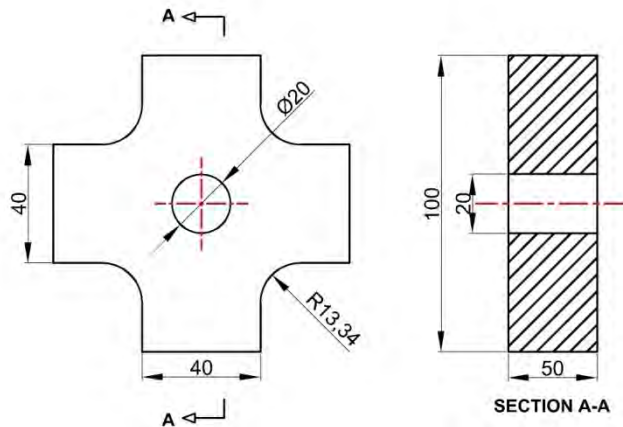
3.3. Perancangan dan Pembuatan Sistem Saluran

Perancangan sistem saluran digunakan untuk menentukan dimensi pada sistem saluran, antara lain ; *sprue*, *well base*, *runner*, dan *ingate*. Perancangan yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada ketentuan AFS (*American Foundrymen's Society*). Pembuatan sistem saluran dilakukan dengan menggunakan kayu yang dibentuk sesuai dengan dimensi perancangan, selanjutnya dilakukan proses dempul pada sistem saluran tersebut.

3.4. Pembuatan Pola Benda, Cil Dalam (*Internal Chill*), dan Rangka Cetak.

3.4.1. Pembuatan pola

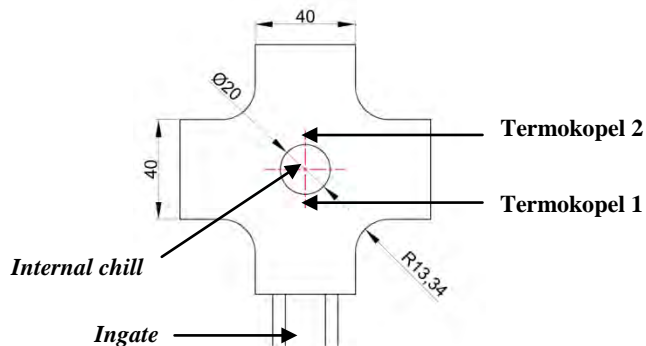
Pola yang digunakan pada penelitian ini adalah pola yang memiliki bentuk pertemuan X [12]. Pola tersebut digunakan untuk mengetahui lokasi dan seberapa besar prosentase cacat *shrinkage*. Pembuatan pola ditambah dengan toleransi kemiringan, hal ini dilakukan agar memudahkan dalam proses pengambilan pola dari cetakan pasir. Pola dibuat dari kayu yang dilapisi dempul dan dihaluskan menggunakan amplas. Pola yang digunakan adalah jenis pola belah, dimana setiap bagian diletakkan pada kup dan drag. Dimensi dan bentuk pola pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Dimensi pola benda dengan diameter cil dalam (*internal chill*) 20 mm.

3.4.2. Pembuatan cil dalam (*internal chill*)

Cil dalam (*internal chill*) yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan material baja jenis ST 41. Pada penelitian ini akan dilakukan variasi dimensi *internal chill* dengan cara ukuran yang dianggap ideal pada persamaan 2.8 akan dikurangi dan ditambah sebesar 25% dari hasil yang didapatkan dari persamaan tersebut.

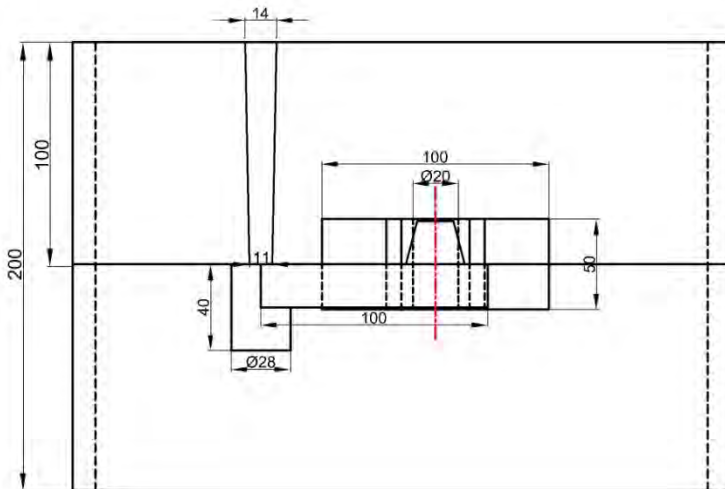


Gambar 3.3. Lokasi penempatan cil dalam (*internal chill*) dan termokopel.

Internal chill diletakkan pada bagian pertemuan X, dimana pada lokasi pertemuan tersebut adalah merupakan lokasi yang akan membeku paling akhir. Lokasi penempatan *internal chill* dapat dilihat pada gambar 3.3. Pada gambar tersebut akan diletakkan sebuah *internal chill* dengan menggunakan dimensi yang berbeda.

3.4.3. Pembuatan Rangka cetak

Rangka cetak yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan 2 permukaan pisah yaitu bagian kup dan drag. Rangka cetak yang digunakan dibuat dari kayu dengan menggunakan dimensi berdasarkan pola dan penempatan saluran. Pada bagian kup sistem saluran terdiri atas *sprue*, *gate*, dan pola belah bagian atas dari benda cor. Bagian drag sistem saluran terdiri atas *well base*, *runner*, dan pola belah bagian bawah dari benda cor. Rangka cetak dan penempatan sistem saluran dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5.



Gambar 3.4. *Parting line gating system* tampak samping

3.5.2. Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

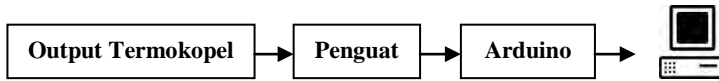
1. Dapur peleburan logam
2. Gergaji
3. Ayakan pasir
4. Rangka cetak
5. Sistem saluran
6. Ember
7. Penggaris
8. Gelas ukur
9. Timbangan digital
10. Jangka sorong
11. Sekop pasir
12. Palu kayu pemadat pasir
13. Spatula
14. Palu, paku sekrup, dan obeng
15. Alat pengukur temperatur
16. Kamera digital

3.6. Tahapan Pengecoran

Percobaan pengecoran dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Tahap persiapan
Tahap persiapan digunakan untuk merencanakan seluruh kegiatan baik perencanaan teknik (perancangan konstruksi benda coran, pemilihan metoda pengecoran, perancangan sistem saluran), maupun perencanaan waktu.
2. Pembuatan pola
Pola kayu yang digunakan untuk membuat cetakan memiliki beberapa kelengkapan teknik pengecoran seperti kemiringan pola dan kelebihan ukuran untuk tambahan penyusutan dan permesinan.

3. Pengolahan pasir cetak
Komposisi pasir cetak yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir silica, bentonit, dan air, dengan perbandingan 89%, 7,5%, dan 3,5% [8].
4. Pembuatan cetakan
Cetakan yang digunakan sebanyak empat buah, masing-masing terdiri dari pembuatan cetakan tanpa cil dan dengan variasi dimensi ukuran cil dalam (*internal chill*) yang berbeda, yaitu ; 15, 20, dan 25 mm.
5. Peleburan
Proses peleburan aluminium dilakukan dengan menggunakan tungku hingga temperatur sekitar 750°C diatas temperatur *melting point* sebesar $660,2^{\circ}\text{C}$. Hal ini dilakukan untuk menjaga temperatur turun pada waktu logam cair diangkat dari tungku dan dituang ke dalam cetakan.
6. Penuangan
Proses penuangan menggunakan ladle penuang untuk membawa logam cair dari tanur ke cetakan dan menuangkannya dengan aman.
7. Pembekuan
Setelah logam cair dituang terjadi proses pembekuan dan selama proses ini berlangsung terjadi peristiwa perpindahan panas.
8. Proses pengambilan data temperatur
Proses pengambilan data temperatur digunakan untuk mengetahui distribusi temperatur di dua titik dari benda cor agar dapat diketahui laju penurunan temperatur pada lokasi *internal chill* dengan cara melihat nilai rata-rata kedua titik temperatur. Alat pengukur temperatur ini akan terhubung ke dalam komputer dan akan langsung merekam temperatur pengecoran.



Gambar 3.6. Skema alat pengukur kecepatan pendinginan benda cor.

Lokasi penempatan termokopel diletakkan di bagian dekat dengan *internal chill* di dua titik. Lokasi penempatan thermokopel dapat dilihat pada gambar 3.3.

9. Pembongkaran

Setelah mengalami proses pembekuan dalam waktu yang cukup di dalam cetakan, selanjutnya cetakan dibongkar untuk memisahkan benda hasil cor dari cetakannya.

10. Inspeksi

Inspeksi dilakukan terhadap hasil cor untuk mengetahui ada tidaknya cacat dan pengukuran pada benda hasil cor. Pengukuran dimensi karena cacat *shrinkage* bagian luar dilakukan dengan seberapa banyak volume material yang menyusut. Pengukuran volume dapat dilakukan dengan cara bantuan malam yang ditempelkan pada bagian permukaan cacat *shrinkage*. Prosesnya yaitu :

- 1). Proses awal yang dilakukan adalah menempelkan malam pada bagian permukaan cacat shrinkage sampai permukaannya tertutup semua, selanjutnya malam tersebut diratakan dengan permukaan benda.
- 2). Malam diambil dan diukur volume dengan bantuan gelas ukur. Pembacaan gelas ukur dari volume malam merupakan pembacaan dari volume cacat *shrinkage*.
- 3). Perhitungan presentase jumlah cacat shrinkage dapat dilakukan dengan menggunakan perumusan :

$$\frac{VolumeShrinkage}{VolumeTotalBenda} \times 100\% \quad (\text{Pers. 3.1})$$

3.7. Analisa dan Pembahasan

Analisa digunakan untuk mendiskusikan sebuah permasalahan yang diangkat dengan didukung dengan konsep teori.

3.8. Kesimpulan dan saran

Tahap terakhir adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis, serta saran-saran untuk perbaikan penelitian lebih lanjut.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

PERENCANAAN SISTEM SALURAN DAN PELAKSANAAN PENGECORAN

4.1. Perancangan Sistem Saluran

Perancangan sistem saluran yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem saluran dengan menggunakan 1 *runner* dan 1 *gate*, yang susunannya mengacu pada ketentuan AFS. Data yang digunakan untuk perancangan dan perhitungan sistem saluran adalah sebagai berikut :

- Material Cor:
 - Jenis material = Aluminium (Al)
 - Berat jenis (ρ) = $2,7 \text{ gr/cm}^3 = 0,097 \text{ lb/in}$
 - T_{melt} = $660,2^{\circ}\text{C}$
- Bentuk dan ukuran material cor:
 - Volume = 370 cm^3
 - Berat coran (W) = $V \times \rho$
= $370 \text{ cm}^3 \times 2,7 \text{ gr/cm}^3$
= 999 gr
= 2,2 lb

4.1.1 Perhitungan waktu tuang

$$\begin{aligned}\text{Waktu tuang} &= f W^{1/2} \\ &= 1,5 \times 2,2^{1/2} \\ &= 2,2 \text{ detik} = 2 \text{ detik}\end{aligned}$$

4.1.2 Perhitungan *effective sprue height*

Penentuan tingi efektif sprue (H) menggunakan *parting line gating system*. Perhitungannya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Effective head (H)} = \frac{2hc - p^2}{2c}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(2 \times 10 \times 5) - (2,5^2)}{2 \times 5} \\
 &= 9,375 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.1.3 Perhitungan *choke area* (AB)

$$\begin{aligned}
 AB &= \frac{W}{d_{tc} \sqrt{2gh}} \\
 &= \frac{681}{2,7 \times 2 \times 0,74 \sqrt{2 \times 981 \times 10}} \\
 &= \frac{681}{559,72} \\
 &= 1,22 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung luasan *choke area* sebesar 1,22 cm², maka dapat diketahui sisi dari saluran turun dengan menggunakan luasan persegi.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Persegi} &= s \times s \\
 1 &= s \times s \\
 s &= 1,1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.1.4 Perhitungan *top sprue area* (AT)

$$\begin{aligned}
 AT &= AB \sqrt{\frac{H}{b}} \\
 &= 1 \sqrt{\frac{9,375}{3}} \\
 &= 1,76 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung *top sprue area* sebesar 1,76 cm², maka dapat diketahui sisi dari saluran turun dengan menggunakan luasan persegi.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Persegi} &= s \times s \\
 1,76 &= s \times s \\
 s &= 1,32 \text{ cm} = 1,4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.1.5 Perhitungan *runner* dan *gate area*

Perhitungan dilakukan menggunakan perbandingan antara *spure*, *runner*, dan *ingate area* sebesar 1 : 4: 4 untuk penuangan tanpa tekanan, sehingga dapat ditentukan luasan *runner* dan *ingate* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Runner} &= 4 \times AB \\
 &= 4 \times 1,22 \\
 &= 4,88 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Gate} &= 4 \times AB \\
 &= 4 \times 1,22 \\
 &= 4,88 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Runner dan *gate* yang digunakan adalah bentuk trapesium. Sisi sejajar *runner* memiliki panjang 2,8 dan 2,0 cm, sedangkan tinggi 2,0 cm.

4.1.6 Perhitungan *well base*

$$\begin{aligned}
 \text{Well Area} &= 5 \times AB \\
 &= 5 \times 1,22 \text{ cm}^2 \\
 &= 6,1 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan, maka dapat diketahui diameter dari *well base* :

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Lingkaran} &= \pi r^2 \\
 6,1 &= 3,14 \times r^2 \\
 r &= 1,39 \text{ cm} \\
 d &= 2,8 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman Well} &= 2 \times \text{tinggi pengalir} \\
 &= 2 \times 2 \text{ cm} \\
 &= 4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.2. Pembuatan Cil Dalam (*Internal Chill*)

Cil dalam (*internal chill*) yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan material baja jenis ST 41. Perhitungan diameter *internal chill* dilakukan dengan menggunakan persamaan persamaan 2.8 :

$$\begin{aligned} d &= \frac{1}{2} \cdot T \\ &= \frac{1}{2} \cdot 4 \text{ cm} \\ &= 2 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada penelitian ini akan dilakukan variasi dimensi *internal chill* dengan cara ukuran yang dianggap ideal pada persamaan 2.8 akan dikurangi dan ditambah sebesar 25% dari hasil yang didapatkan dari persamaan tersebut.

4.3. Pelaksanaan Pengecoran

Proses pengecoran pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap proses antara lain sebagai berikut:

4.3.1. Pembuatan pola

Pola yang digunakan pada penelitian ini adalah pola yang terbuat dari kayu yang dilapisi dempul dan dihaluskan dengan menggunakan amplas. Pola yang digunakan adalah jenis pola belah, dimana setiap bagian diletakkan pada kup dan drag.



Gambar 4.1. Pola benda

4.3.2. Penyaringan dan pencampuran pasir cetak

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis pasir silica (SiO_2). Pasir tersebut kemudian diayak untuk mendapatkan butiran yang halus dan kasar. Pasir halus digunakan pada permukaan cetakan benda cor, sedangkan sisanya menggunakan pasir kasar. Pasir halus yang digunakan adalah pasir silica yang masih baru, sedangkan pasir kasar menggunakan pasir silica bekas. Komposisi pasir cetak yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir silica, bentonit, dan air, dengan perbandingan 89%, 7,5%, dan 3,5% [7]. Proses pencampuran pasir cetak dilakukan dengan menggunakan tangan hingga semuanya tercampur.



(a)

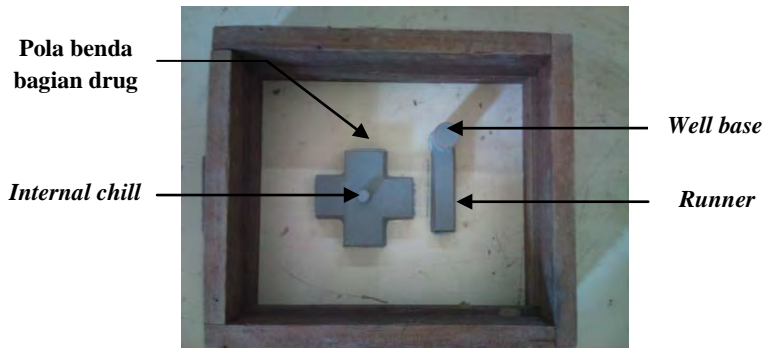
(b)

Gambar 4.2. Pasir cetak : (a) Pasir halus. (b) Pasir kasar.

4.3.3. Penyusunan pola dan sistem saluran pada rangka cetak

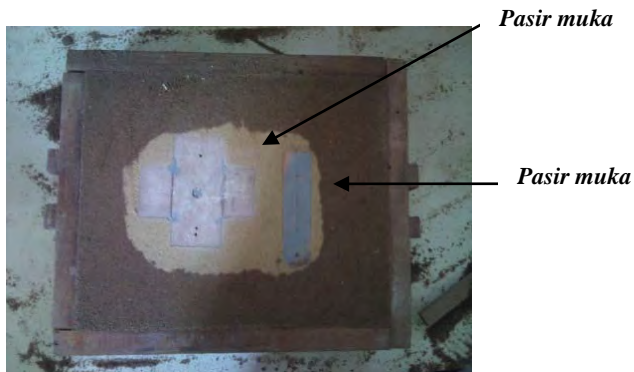
Berikut ini adalah langkah-langkah penyusunan pola pada kup dan drag:

1. Rangka cetak bagian drag diletakkan pada alas datar dalam posisi terbalik.
2. Pola benda, *runner*, cil dalam (*internal chill*), dan *well base* disusun di tengah-tengah rangka cetak.



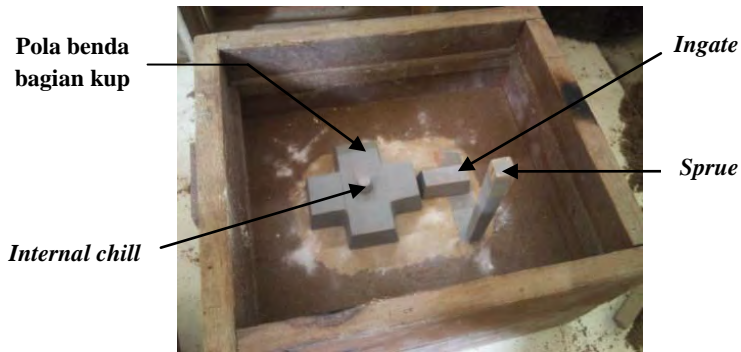
Gambar 4.3. Penempatan pola pada rangka cetak bagian drug.

3. Pasir halus diisi di sekitar pola hingga tertutup, kemudian ditambah dengan pasir kasar hingga mencapai permukaan drug. Pasir ditumbuk hingga padat dan diratakan. Kemudian rangka cetak bagian drug dibalik.



Gambar 4.4. Cetakan bagian drug.

4. Rangka cetak pada bagian kup diletakkan di atas permukaan drug yang telah dibalik.
5. Pola benda, *internal chill*, *ingate*, dan *sprue* disusun di tengah-tengah rangka cetak.



Gambar 4.5. Penempatan pola pada rangka cetak bagian kup.

6. Pasir muka diisi di sekitar pola hingga tertutup, kemudian ditambah dengan pasir yang telah disaring hingga memenuhi rangka cetak kemudian ditumbuk hingga padat dan diratakan.



Gambar 4.6. Cetakan bagian kup.

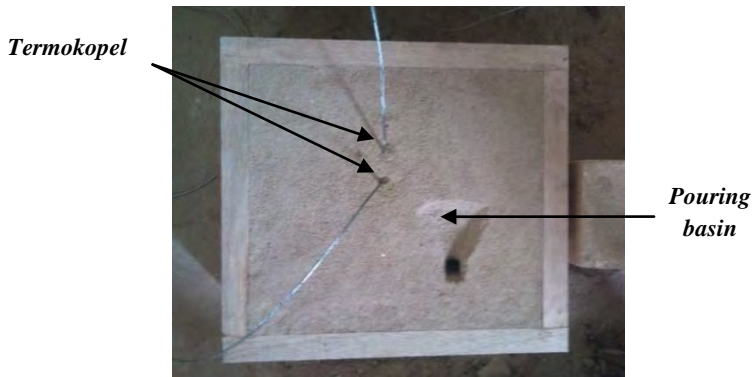
7. Rangka cetak pada bagian kup dan drag dibalik hingga pola berada di bagian atas, kemudian pola diambil dari cetakan pasir pada bagian kup dan drag.

8. Bagian kup dan drag ditaruh dalam posisi miring 90^0 terhadap bidang datar, kemudian ditunggu cetakan tersebut kering selama kurang lebih 2 minggu.



Gambar 4.7. Proses pengeringan

9. Setelah kering, kemudian dibuat cawan tuang pada bagian kup dan dilakukan pemasangan termokopel pada cetakan.



Gambar 4.8. Cawan tuang pada cetakan bagian kup.

10. Cetakan kup diletakkan pada bagian atas dan bagian drag pada bagian bawah.

11. Penyusunan pola tanpa dan menggunakan variasi dimensi cil dalam (*internal chill*) memiliki langkah-langkah yang sama. Perbedaanannya hanya pada langkah nomor 2 dan 5, dimana variasi pola penempatan *internal chill* diganti dengan dimensi yang berbeda, sedangkan tanpa *internal chill* tidak dilakukan penempatan pola.

4.4. Proses Peleburan Aluminium

Peleburan aluminium dilakukan dengan menggunakan tanur hingga temperatur sekitar 750°C diatas temperatur *melting point* sebesar $660,2^{\circ}\text{C}$. Hal ini dilakukan untuk menjaga temperatur turun pada waktu logam cair diangkat dari tanur dan dituang ke dalam cetakan.



Gambar 4.9. Tungku peleburan logam.



Gambar 4.10. Temperatur peleburan logam (750°C).

4.5. Penuangan Logam Cair

Penuangan dilakukan setelah logam dalam kondisi cair seluruhnya. Sebelum dilakukan penuangan pada cetakan, logam cair harus dibersihkan dari *slag* agar tidak terjadi cacat akibat *slag*. Penuangan dilakukan sebanyak 4 kali, yaitu pada cetakan tanpa menggunakan cil dalam (*internal chill*) dan dengan menggunakan variasi dimensi *internal chill* sebanyak 3 buah.



Gambar 4.11. Penuangan logam cair.

4.6. Pembongkaran dan Pembersihan Coran



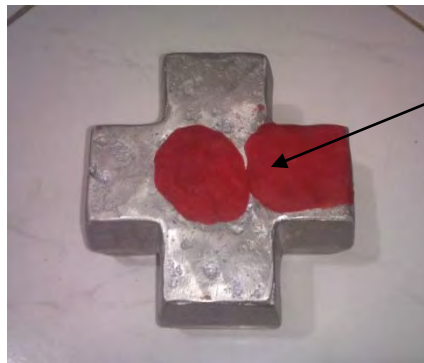
Gambar 4.12. Pembongkaran cetakan.

Pembongkaran cetakan dilakukan setelah dilakukan proses pengecoran dan ditunggu selama 2 jam pada temperatur kamar. Pembongkaran cetakan dilakukan dengan hati-hati agar tidak merusak benda coran, kemudian dibersihkan dari pasir-pasir yang menempel pada benda hasil coran.

4.7. Proses Pengukuran Cacat *Shrinkage* (Penyusutan)

Proses pengukuran cacat *shrinkage* dilakukan setelah dilakukan pembongkaran dan pembersihan benda hasil coran. Pengukuran prosentase *shrinkage* dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.1, yaitu menghitung perbandingan volume *shrinkage* terhadap volume total spesimen. Volume *shrinkage* dilakukan dengan cara menggunakan bantuan malam yang ditempelkan pada bagian permukaan cacat, sedangkan volume total spesimen dilakukan dengan menggunakan perhitungan. Proses pengukuran volume *shrinkage* yaitu:

1. Proses penempelan malam pada bagian permukaan cacat *shrinkage* hingga permukaannya tertutup semua, selanjutnya diratakan sampai rata dengan permukaan benda.

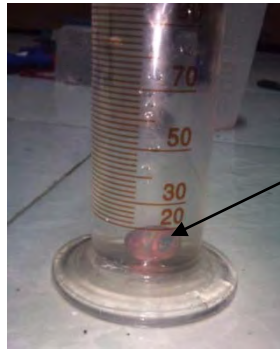


Malam

Gambar 4.13. Pemasangan malam.

2. Malam diambil dan diukur volume dengan bantuan gelas ukur. Pembacaan gelas ukur dari volume malam merupakan pembacaan dari volume cacat *shrinkage*. Proses pengambilan

data volume dilakukan sebanyak lima kali agar didapatkan hasil yang lebih akurat.



Malam

Gambar 4.14. Proses pengukuran volume.

3. Benda coran ditimbang dan hasilnya dicatat.



Gambar 4.14. Proses penimbangan benda hasil coran.

4. Perhitungan prosentase cacat shrinkage dapat dilakukan dengan persamaan 3.1.

$$\frac{VolumeShrinkage}{VolumeTotalBenda} \times 100\%$$

5. Contoh perhitungan

Pengukuran rata-rata volume cacat *shrinkage* tanpa menggunakan cil dalam (*internal chill*) sebesar 12 ml.

$$\text{Volume shrinkage} = 12 \text{ ml} = 12 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat benda hasil coran} &= 926 \text{ g} : 2,7 \text{ g/cm}^3 \\ &= 342,96 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Prosentase cacat} = \frac{\text{VolumeShrinkage}}{\text{VolumeTotalBenda}} \times 100\%$$

$$= \frac{12}{342,96} \times 100\%$$

$$= 3,49 \%$$

4.8. Perhitungan perpindahan panas

Perhitungan perpindahan panas dilakukan untuk mengetahui laju perpindahan panas (q) yang terjadi pada setiap penggunaan variasi dimensi cil dalam (*internal chill*). Berikut ini adalah contoh perhitungan perpindahan panas yang terjadi secara konduksi.

$$\text{Diameter internal chil (d)} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Temperatur surface (Ts)} = 663^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatur internal chill (Ti)} = 662^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Konduktifitas thermal} = 60,5 \text{ W/mK}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{konduksi}} &= k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L} \\ &= k \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{T_s - T_i}{\frac{1}{2} D} \\ &= 60,5 \text{ W/mK} \cdot 3,14 \cdot (0,0075 \text{ m})^2 \cdot \frac{663\text{K} - 662\text{K}}{\frac{1}{2} 0,015\text{m}} \\ &= 1,42 \text{ W} \end{aligned}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 5



HASIL DAN ANALISA DATA

5.1. Hasil Percobaan

Hasil percobaan yang telah dilakukan tanpa menggunakan cil dalam (*internal chill*) dan menggunakan variasi *internal chill* didapatkan adanya cacat *shrinkage* (penyusutan) pada semua benda hasil coran. Berikut ini adalah hasil benda coran yang didapatkan dari hasil percobaan.

Tabel 5.1. Cacat *shrinkage* hasil pengecoran

Pengecoran	Cacat <i>Shrinkage</i>		
	Prosentase volume	Lokasi	Gambar
Tanpa cil dalam (<i>internal chill</i>)	3,49 %	Cacat terletak pada benda coran bagian tengah dan dekat dengan saluran masuk	 <p style="text-align: center;">Cacat <i>shrinkage</i></p>
<i>Internal chill</i> dengan dimensi diameter 15 mm	3,82 %	Cacat terletak pada bagian yang dekat dengan <i>internal chill</i> dan dekat dengan saluran masuk	

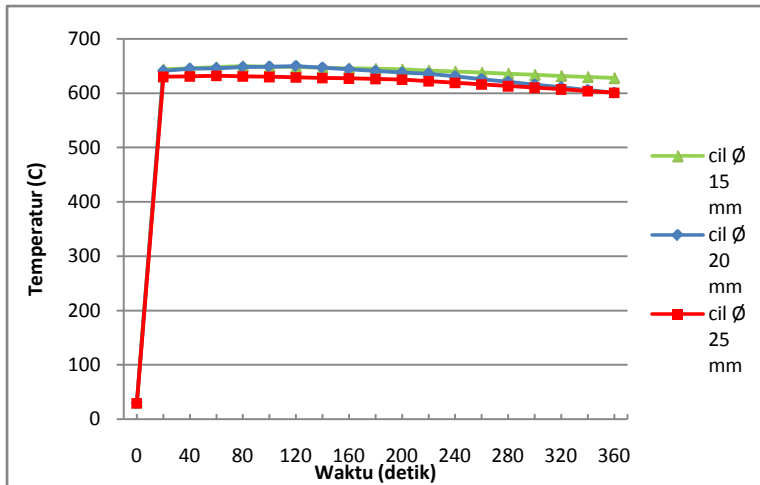
<i>Internal chill</i> dengan dimensi diameter 20 mm	1,28 %	Cacat terletak pada 2 bagian, masing-masing memiliki jarak yang tidak terlalu jauh dari <i>internal chill</i> dan salah satunya dekat <i>ingate</i>	
<i>Internal chill</i> dengan dimensi diameter 25 mm	1,01 %	Cacat teletak pada 3 bagian, yang masing-masing memiliki jarak yang tidak terlalu jauh dari <i>internal chill</i> , dan salah satunya dekat dengan <i>ingate</i>	

5.2. Analisa Data dan Pembahasan

5.2.1. Hasil pengukuran temperatur pada cil dalam (*internal chill*) diameter 15, 20, dan 25 mm

Gambar 5.1 menunjukkan perbandingan hasil pengukuran temperatur cil dalam (*internal chill*) dengan menggunakan variasi dimensi diameter 15, 20, dan 25 mm. Proses pengambilan data temperatur dimulai saat dituangkan logam cair kedalam cetakan pada temperatur 750°C . Pengambilan data temperatur dilakukan selama 6 menit, dimana waktu tuang untuk masing-masing dimensi diameter 15, 20, dan 25 mm secara berurutan adalah 15, 16, dan 21 detik. Pada *internal chill* diameter 15 mm terjadi kenaikan temperatur dari temperatur ruangan sebesar 28°C menjadi 644°C , kemudian terjadi penurunan temperatur hingga detik ke 360 sebesar 628°C . Diameter 20 mm terjadi kenaikan

temperatur mencapai 641°C setelah dilakukan penuangan, kemudian terjadi penurunan temperatur hingga detik ke 360 sebesar 601°C . Sedangkan diameter 25 mm terjadi kenaikan temperatur yang cukup signifikan sejak dituangkan logam cair kedalam cetakan sebesar 641°C , kemudian terjadi penurunan temperatur hingga detik ke 360 sebesar 598°C .



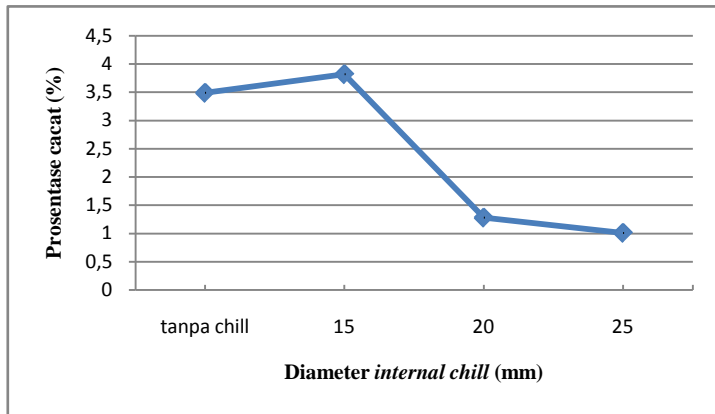
Gambar 5.1. Grafik perbandingan pengukuran temperatur cil dalam (*internal chill*) dengan menggunakan variasi dimensi diameter 15, 20, dan 25 mm.

Hasil percobaan pada proses pengecoran yang telah dilakukan dengan variasi cil dalam (*internal chill*) dengan diameter 15, 20, dan 25 mm secara berurutan memiliki prosentase cacat *shrinkage* sebesar 3,82, 1,28, dan 1,01 %. Percobaan pada *internal chill* diameter 15 mm memiliki jumlah prosentase cacat *shrinkage* yang lebih besar daripada diameter 20 dan 25 mm. Cacat yang terdapat pada diameter 15 mm berada pada lokasi yang dekat dengan *internal chill* dan saluran masuk. Cacat yang berada pada lokasi yang dekat dengan *internal chill* disebabkan kapasitas *internal chill* untuk menyerap panas dari logam cair

relatif lebih kecil daripada diameter 20 dan 25 mm. Sehingga daerah yang membeku paling akhir berada pada bagian tengah benda coran dan dekat dengan *internal chill*. Percobaan dengan *internal chill* diameter 20 mm memiliki lokasi cacat *shrinkage* yang terletak tidak terlalu jauh dari *internal chill*. Hal ini dapat terjadi karena kapasitas panas yang mampu diserap *internal chill* relatif lebih besar daripada *internal chill* diameter 15 mm. Pendinginan yang lebih cepat di daerah sekitar *internal chill* akan menyebabkan daerah tersebut mengalami pembekuan lebih awal. Sehingga cacat yang terjadi berada pada lokasi yang terletak lebih jauh dari *internal chill*. Percobaan terakhir dilakukan dengan menggunakan *internal chill* dimensi 25 mm. Pada dimensi ini cacat *shrinkage* yang dihasilkan terletak lebih jauh dari *internal chill*, selain itu jumlah cacat yang terjadi lebih banyak namun dengan volume yang lebih kecil. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perubahan dimensi lebih besar sehingga proses perpindahan panas yang mampu diserap *internal chill* lebih banyak daripada dimensi 15 dan 20 mm. Akibat perpindahan panas tersebut, daerah di sekitar *internal chill* membeku lebih cepat, sehingga letak cacat bergerak menjauhi *internal chill*. Dari ketiga percobaan yang telah dilakukan terdapat cacat *shrinkage* pada benda cor di lokasi dekat dengan saluran masuk. Cacat pada daerah ini disebabkan karena pada bagian tersebut terisi logam cair terakhir dan membeku paling akhir.

Dari hasil percobaan pengecoran yang telah dilakukan menggunakan variasi dimensi diameter *internal chill*, terdapat cacat *shrinkage* pada semua hasil percobaan. Namun, penggunaan variasi dimensi *internal chill* tersebut secara efektif mampu untuk menurunkan cacat *shrinkage* yang terdapat pada hasil coran. Penggunaan variasi dimensi *internal chill* yang dilakukan pada percobaan ini menghasilkan semakin besar ukuran diameter *internal chill*, maka cacat yang terdapat pada hasil coran semakin kecil. Selain itu, semakin besar ukuran diameter *internal chill*, maka cacat yang terjadi semakin bergeser menjauhi *internal chill*.

5.2.2. Perbandingan hasil pengukuran prosentase cacat *shrinkage* pengecoran tanpa dan dengan menggunakan variasi dimensi cil dalam (*internal chill*)



Gambar 5.2. Grafik perbandingan hasil pengukuran prosentase cacat *shrinkage* pengecoran tanpa dan dengan menggunakan variasi dimensi cil dalam (*internal chill*)

Gambar 5.2 menunjukkan hasil pengukuran jumlah prosentase cacat *shrinkage* pengecoran tanpa dan dengan menggunakan variasi dimensi cil dalam (*internal chill*). Hasil percobaan pada proses pengecoran yang telah dilakukan tanpa menggunakan *internal chill* diperoleh jumlah prosentase cacat *shrinkage* sebesar 3,49%. Sedangkan dengan menggunakan variasi dimensi *internal chill* diameter diameter 15, 20, dan 25 mm secara berurutan memiliki prosentase cacat *shrinkage* sebesar 3,82, 1,28, dan 1,01 %.

Pada percobaan pengecoran tanpa menggunakan *internal chill* terdapat cacat yang memiliki lokasi di bagian tengah benda coran, selain itu terdapat juga cacat dekat dengan saluran masuk. Proses pendinginan benda cor setelah penuangan logam cair terjadi dari bagian yang bersentuhan langsung dengan pasir cetak dan berlanjut sampai bagian tengah benda cor. Proses perubahan

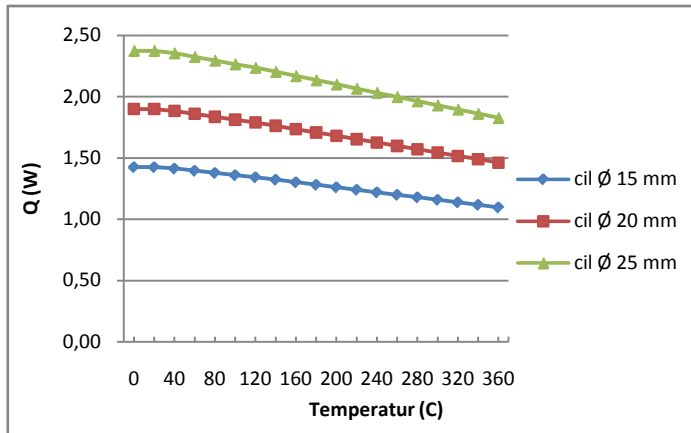
fase dari liquid menjadi solid pada logam cair akan menimbulkan penurunan volume dari logam cair tersebut. Cacat pada bagian tengah benda cor disebabkan oleh laju pendinginan logam cair yang tidak seragam. Hal ini disebabkan karena pada bagian tengah cor membeku paling akhir. Selain itu terdapat cacat pada bagian benda cor yang dekat dengan saluran masuk disebabkan karena terisi logam cair terakhir dan membeku paling akhir. Cacat pada percobaan ini memiliki jumlah prosentase yang besar sebab pendinginan coran hanya dilakukan oleh pasir.

Penambahan *internal chill* pada benda coran berfungsi untuk menyerap panas dari logam cair sehingga mempercepat proses pendinginan. *Internal chill* yang digunakan pada pengecoran ini menggunakan bahan dari material baja ST 41, dimana memiliki titik lebur diatas titik lebur aluminium. *Internal chill* menggunakan material baja ST 41 memiliki kemampuan melepas panas yang cukup baik dibandingkan dengan pasir cetak. Percobaan pada proses pengecoran dengan *internal chill* diameter 15 mm memiliki jumlah prosentase cacat *shrinkage* paling besar daripada pengecoran tanpa dan menggunakan variasi *chill* diameter 20 dan 25 mm. Prosentase cacat pada diameter 15 mm disebabkan karena terdapat kebocoran logam cair yang disebabkan adanya bagian *parting line* pada cetakan yang kurang rapat. Hal ini menyebabkan benda coran tidak terisi secara penuh. Oleh karena itu pada penggunaan *internal chill* diameter 15 mm memiliki prosentase cacat paling besar.

5.2.3. Laju perpindahan panas pada cil dalam (*internal chill*) dengan menggunakan variasi dimensi diameter 15, 20, dan 25 mm

Gambar 5.3 memperlihatkan grafik laju perpindahan panas pada cil dalam (*internal chill*) dengan menggunakan variasi dimensi diameter 15, 20, dan 25 mm. Dari grafik tersebut penggunaan *internal chill* diameter 15 mm memiliki trendline yang paling lama mengalami laju perpindahan panas, sedangkan

pada diameter 25 mm mengalami laju perpindahan panas yang paling cepat.



Gambar 5.3. Laju perpindahan panas pada cil dalam (*internal chill*)

Perpindahan panas yang terjadi antara logam cair dengan *internal chill* yaitu secara konveksi dan konduksi. Perpindahan panas secara konveksi melibatkan fluida cair dan permukaan padat, dimana fluida cair adalah logam cair sedangkan permukaan padat adalah *internal chill*. Perpindahan panas secara konduksi hanya terjadi pada *internal chill* saja. Percobaan dengan menggunakan *internal chill* diameter 15 mm mengalami perpindahan panas yang lebih lama daripada diameter 20 dan 25 mm. Hal ini disebabkan karena perbedaan ukuran dimensi yang lebih kecil menyebabkan kemampuan laju perpindahan panas semakin lama. Ukuran dimensi diameter pada *internal chill* sangat berpengaruh terhadap laju perpindahan panas. Semakin besar diameter yang digunakan maka laju perpindahannya akan semakin besar, dan sebaliknya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil percobaan dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan antara lain :

1. Penggunaan variasi dimensi cil dalam (*internal chill*) pada pengecoran benda yang semakin diperbesar dapat berfungsi dengan baik mengurangi serta menggeser lokasi cacat penyusutan (*shrinkage*) menjauhi *internal chill*
2. Pada pengujian prosentase cacat *shrinkage*, didapatkan nilai terkecil pada dimensi *internal chill* diameter 25 mm sebesar 1,01% dan terbesar pada dimensi 15 mm sebesar 3,82%. Nilai prosentase cacat cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya diameter.

6.2. Saran

1. Benda yang akan dibuat produk cor sebaiknya diberi perbedaan ketebalan.
2. Alat ukur temperatur sebaiknya perlu di sempurnakan agar pembacaan temperatur lebih akurat.
3. Perlu dilakukan pengukuran temperatur pada benda coran mulai saat penuangan sampai dengan temperatur kamar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ALUMINIUM 6061

Chemical Composition :

Alloy 6061 is heat treatable aluminium-magnesium-silicon alloy.
Referring to Standard JIS 4100

No	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Other Total		Al
6061	0,4- 0,6	0,7	0,15- 0,4	0,25	0,6- 1,2	0,34- 0,35	0,25	0,15	0,05	0,15	98

Mechanical Properties :

Temper	Ultimate Strength Minimum	Tensile (Mpa) Typical	0,2% Stress Minimum	Elongation (%) Minimum
T _A	150	240	130	16
T _B	240	300	220	8

Physical Properties :

Density	2,7 gr/cm ³
Specific heat between 0-100 ⁰ C	920 J/kg deg K
Melting range	580-650 ⁰ C
Coefficient of linear expansion 20-100 ⁰ C	24x10/K
Thermal conductivity at 100 ⁰ C	1,67 W/cm K
Electrical resistivity at 20 ⁰ C	0,04 µm
Modulus of elasticity	69000 N/mm ³
Modulus of rigidity	26000 N/mm ³



RIWAYAT PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 26 Pebruari 1990, merupakan anak ke-2 dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Aisyiyah Bustanul Athfal (1995-1996), SDN Mertani 1 (1996-2002), SMPN 1 Karanggeneng (2002-2005), SMAN 2 Lamongan (2005-2008) dan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (2008 - 2011). Setelah lulus studi Politeknik yaitu tahun

2011, penulis melanjutkan studi ke tahap sarjana melalui program Lintas Jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis diterima pada bulan Januari tahun 2012 dengan NRP 2111106036 dan menyelesaikan pada bulan September 2014. Penulis memiliki hobi futsal, basket dan menonton film. Ketertarikan terhadap pengecoran membuat penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Dimensi Cil Dalam (*Internal Chill*) Terhadap Cacat Penyusutan (*Shrinkage*) Pada Pengecoran Aluminium 6061”. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk agama dan negara. Penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini.

nurhadi.ginanjar@yahoo.com

nurhadi.ginanjar.k@gmail.com